

文章编号 : 1672-2892(2010)01-0012-04

基于磁阻芯片和 MSP430 单片机的电子罗盘设计

郭检楠

(东南大学 IC 学院, 江苏 南京 210096)

摘 要: 电子罗盘是一种获取载体姿态航向的设备。介绍磁电子罗盘的工作原理及其具体实现, 利用 Honeywell 的 HMC1022 双轴磁阻传感器设计了一种小型化的电子罗盘, 利用 AD623 高精度放大器作信道调理电路, 利用低功耗的 MSP430 微处理器完成 A/D 转换、方位角计算以及数字化输出等工作。采用置位/复位电路配合微处理器有效解决了传感器失调和漂移的影响。实验表明该系统具有良好的获取航向能力, 且运行稳定, 功耗低, 误差小于 1°。

关键词: 地磁场; 电子罗盘; 磁阻芯片; MSP430 微处理器

中图分类号: TN911.72

文献标识码: A

Design of digital compass with magneto resistive chip and the MCU of MSP430

GUO Jian-nan

(School of IC, Southeast University, Nanjing Jiangsu 210096, China)

Abstract: Digital compass is a kind of device which can acquire the carrier's attitude. This study introduced the principle of an electronic compass. By using magneto resistive sensor chip HMC1022 made by Honeywell, a 2-axis electronic compass was developed. The amplifier AD623 was used as the signal conditioning circuit. The MPU MSP430 was in charge of A/D converting, azimuth computing and digital outputting. And the Set/Reset(S/R) circuit was adopted so that the error due to null and drift could be minimized. Experiment results showed that the system had good ability to acquire the carrier's attitude with stable operation and low power consumption. The error was below 1°.

Key words: geomagnetic field; digital compass; magneto resistive sensor chip; MSP430

1 电子罗盘的测量原理

地球的磁感应强度大约为 50 μT ~60 μT , 相当于沿着地球中心的一个磁棒, 磁棒的两极相对于地理的两极有大约 11.5°的夹角。无论何地, 地球磁场的水平分量永远指向磁北极。这一原理是所有罗盘的制作基础。所有罗盘都是测量地球磁场的北方向, 其他方向即可推算出来。地球磁场的北方向和实际的北方向有差别, 而这种差别的大小在地球上的不同地点是不同的, 所以必须知道罗盘所在的大致位置, 才能计算出如何补偿地磁和真实北方向的差别, 以显示出真实的北方向。

磁北的方向就是地磁场在水平面上分量的方向。假设电子罗盘处于水平面上, 要确定其相对于磁北的航向角 α 。由磁阻传感器可以直接得出地磁场的水平分量 H_x, H_y , 因此相对于磁北的航向角为:

$$\beta = \arctan \frac{H_x}{H_y} \quad (1)$$

正切函数的周期为 180°, 为保证数据有效性, 船体航向角 α 转换到相对磁北 0°~360°的范围内。可将式(1)分解为式(2), 由此可以得到相对于磁北极的 360°范围内(顺时针方向)的航向角, 加上当地的磁偏角就可以算出与真北的航向角。

2 电子罗盘系统硬件结构

本设计使用 Honeywell 生产的 AMR 二轴磁阻传感器 HMC1022 作为磁场测量元件, 通过置位/复位(S/R)电路

$$\alpha = \begin{cases} 0^\circ & H_y = 0, H_x > 0 \\ 180^\circ & H_y = 0, H_x < 0 \\ 90^\circ + \frac{\arctan \frac{H_x}{H_y} \times 180^\circ}{\pi} & H_y < 0 \\ 270^\circ + \frac{\arctan \frac{H_x}{H_y} \times 180^\circ}{\pi} & H_y > 0 \end{cases} \quad (2)$$

消除强磁场对磁阻传感器灵敏度的影响。磁阻传感器的输出经过精密运算放大器 AD623 放大后，再由高性能单片机 MSP430F449 对数据进行模/数转换、角度运算，得到载体的航向角。最后方向角数据通过串口传送给用户终端，从而构成一个完整的系统。系统原理框图见图 1。

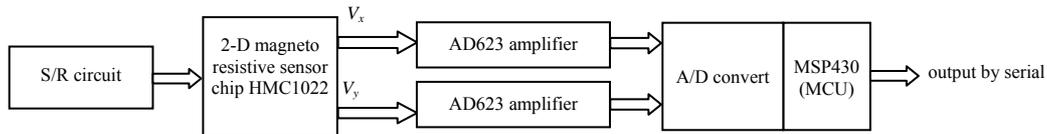


Fig.1 Block diagram of system
图1 系统原理框图

2.1 磁阻传感器

HMC1022 测量范围为±600 μT(地磁场通常为 50 μT~60 μT, 在其测量范围之内), 可单电源工作, 输出信号为弱电压值, 在桥压为 5 V 时, 灵敏度和分辨力分别为 0.01 mV/V/μT 和 0.85 μT^[1]。

磁阻传感器 HMC1022 内部集成了 2 个惠斯通电桥, 这 2 个电桥相互垂直, 分别对应直角坐标系中的 x 轴和 y 轴, 输出毫伏级电压 V_x 和 V_y ^[2]。

2.2 置位复位电路

当磁阻传感器暴露于干扰磁场中时, 传感器元件会分成若干方向随机的磁区域, 从而导致灵敏度衰减, 见图 2。环境中的强磁场会导致磁传感器输出信号变异, 为了消除这种影响并使输出信号达到最佳, 就需要应用磁开关技术(SR+/SR-)来抵消剩余磁场, HMC1022 通过集成在芯片内部的置位/复位合金带对薄膜施加 2 A~4 A, 20 ns~50 ns 的脉冲电流就可以重新将磁区域对准, 统一到一个方向上, 这样可确保高灵敏度。

本系统采用置位/复位电路见图 3, 出于硬件电路实现的方便性和体积的考虑, S/R 电路引入了+5 V 电源和钽电容, 利用手动触发开关连通电源与磁阻传感器的复位引脚, 产生复位脉冲。经实际应用证明, 这样设计的电路简洁有效。

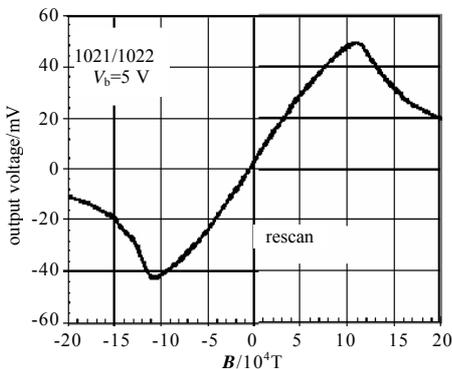


Fig.2 Sensor output vs. magnetic field when the bridge supply is 5 V

图 2 5 V 电桥电压下输出与磁场强度曲线

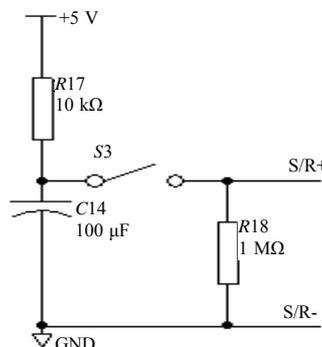


Fig.3 Circuit of S/R
图 3 置位/复位电路

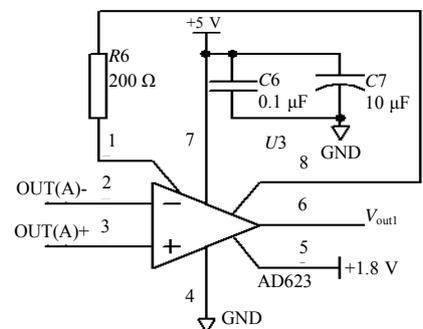


Fig.4 Circuit of signal conditioning
图 4 信道调理电路

2.3 信道调理电路

磁阻传感器 HMC1022 输出的是差分信号, 输出的有效值是 OUT+和 OUT-之间的差值, 为毫伏级。为了有效利用 A/D 的采样精度, 在进行采样前, 需预先将传感器输出的信号进行放大。电路选用低噪声、低功耗

的 AD623 运算放大器, 其电路原理见图 4。 $G = 100/R_G$, G 为放大倍数, R_G 的单位为 $k\Omega$ 。因此 $G=500$, 基准电压为 1.8 V。

2.4 微处理器

本系统采用 TI 公司的 16 位 RISC 结构超低功耗单片机 MSP430F449 作为微控制器, 其最突出的优点是低电源电压、超低功耗。MSP430 系列单片机的电源电压为 1.8 V~3.6 V。在工作频率为 1 MHz 的激活模式下, 其功耗小于 400 μA ; 在等待方式下, 耗电为 1.1 μA , 在节电方式下, 最低可达 0.1 μA , I/O 输入端口的漏电流最大仅为 50 nA, 并且从待机模式到唤醒的响应时间不超过 6 μs 。超低的电流要求和快速唤醒时间, 可使用户设计出一个低功耗的系统。另外, MSP430F449 还集成了一些常用的外围模块和存储器, 比如 ADC12, RAM, 看门狗定时器等。因此, MSP430 适合应用于使用电池供电的仪器、仪表类产品中。此外, MSP430 系列单片机所使用的一套应用 C 语言的集成开发环境和调试器是由 IAR 公司提供的 WORKBENCH 和 C-SPY, 可直接下载程序至片内 FLASH 内存, 脱机运行。大大缩短开发周期, 降低开发难度^[3]。

本设计应用 MSP430F449 自带的 12 位 A/D 转换端口以及串行通信模块(UART 异步模式)输出数据, 简化了电路设计。ADC12 内核使用 2 个可编程的参考电压(V_{R+} 和 V_{R-})定义转换的最大/最小值。本设计通过寄存器选取模拟电源的正端和负端作为参考电压。同时在串行通信模块中使用 max3232 代替了常见的 max232 作为串口通信芯片, 使系统功耗降低。

3 系统软件设计

系统软件除了完成初始化、A/D 转换、数据采集、方向角计算和数字量输出外, 还要对由于传感器失调、温度漂移以及硬铁和软铁干扰造成的误差进行补偿。失调和温度漂移会在传感器敏感信号上面叠加一个直流偏置, 软件通过将传感器在置位和复位情况下得到的信号求平均值, 即可得到由于失调和漂移造成的直流偏置信号, 在方向角计算前对该偏置信号进行补偿即可消除其影响。

为了补偿铁质材料的干扰, 即硬铁和软铁干扰, 可以根据椭圆假设法^[4-5]进行补偿, 确定 2 个定标因数 X_{sf} 和 Y_{sf} , 将输出电压由椭圆改为圆。并计算偏移值 X_{off} 和 Y_{off} , 将圆心定位在零点。用来计算航向角的 H_x, H_y 值为: $H_x = X_{sf}X + X_{off}$ 和 $H_y = Y_{sf}Y + Y_{off}$, 其中 X 和 Y 为 x 轴和 y 轴的实际磁场强度。软件流程见图 5。

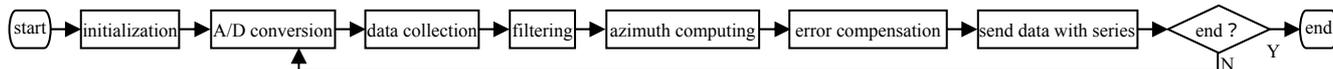


Fig.5 Software flow chart
图 5 软件流程图

4 测试结果和结论

在实验中, 将电子罗盘固定在水平面上, 每隔 15° 测 1 个读数, 得到图 6, 即双轴磁电子罗盘在水平条件下 x 轴和 y 轴 2 个正交传感器单元的经过放大后的输出信号。可以看到 2 个信号随方向角的变化输出呈椭圆, 在对输出信号进行补偿和式(2)的计算后, 即可得到方位角输出。

本文设计了一种基于各向异性磁阻传感器 HMC1022 与 MSP430 单片机的双轴电子罗盘, 通过采用信号差分运算放大器 AD623, 对传感器所输出毫伏级电压进行放大。有效地利用了 MSP430 单片机丰富的片上模块, 简化了电路设计, 并基于 MSP430 单片机低功耗的特点, 使电子罗盘在电池供电下很大大地延长了使用时间。置位/复位电路以及合理的软件补偿有效地抑制了传感器的温度失调、漂移以及外界磁场的传感器的影响, 经过实际测试, 电子罗盘具有较高的精度, 可广泛应用于各个领域。

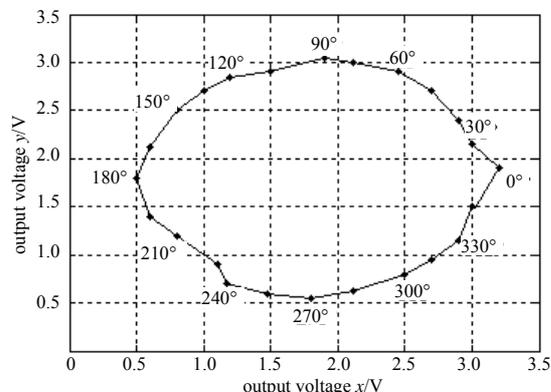


Fig.6 Output voltage
图6 传感器电压输出曲线